

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-201899

(43)Date of publication of application : 30.07.1999

(51)Int.Cl.

G01N 21/35
H01L 21/3065
H01L 21/31
H05H 1/46

(21)Application number : 10-100456

(71)Applicant : TOKYO ELECTRON LTD
UNIV NAGOYA

(22)Date of filing : 27.03.1998

(72)Inventor : GOTO TOSHIO
HORI MASARU
ITO AKIFUMI
ISHII NOBUO
KAWAKAMI SATOSHI

(30)Priority

Priority number : 09327046

Priority date : 11.11.1997

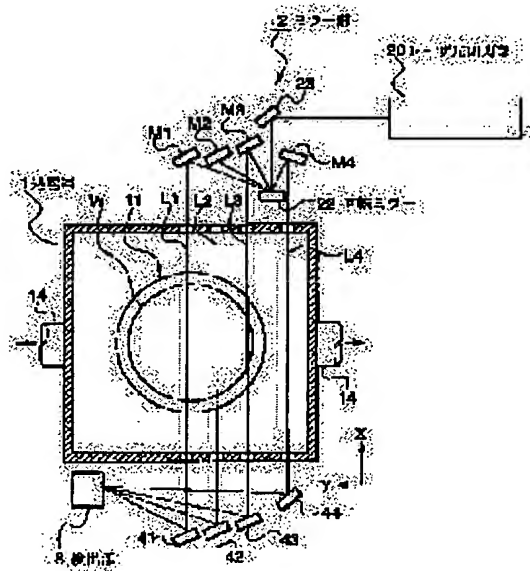
Priority country : JP

(54) MEASURING DEVICE AND TREATING DEVICE OF DENSITY DISTRIBUTION OF PARTICLE AND PLASMA TREATMENT METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To perform uniform treatment within a surface when performing such as film formation and etching to a semiconductor wafer using, for example, plasma.

SOLUTION: Infrared semiconductor laser beams are applied to a rotary mirror 22 from a laser beam output part 20 being provided outside a treatment room 1 for generating plasma via a mirror 23. By changing the rotary position of the rotary mirror 22, for example, four light paths L1-L4 are formed in the treatment room 1 via, for example, mirrors M1-M4, the amount of attenuation of laser beams for each light path is detected by a detection part 3, and the density distribution of particles such as CF₂ radical, CF radical, and SiF₄ molecule in the arrangement direction of the light path is measured. Based on the measurement result, process conditions such as a pressure, a flow rate, and a microwave power are controlled in real time.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

08.03.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-201899

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月30日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I	
G 0 1 N 21/35		G 0 1 N 21/35	Z
H 0 1 L 21/3065		H 0 1 L 21/31	C
21/31		H 0 5 H 1/46	B
H 0 5 H 1/46		H 0 1 L 21/302	E
審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 11 頁)			

(21) 出願番号 特願平10-100456

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月27日

(31) 優先権主張番号 特願平9-327046

(32) 優先日 平9(1997)11月11日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(71) 出願人 391012224

名古屋大学長

愛知県名古屋市千種区不老町(番地なし)

(72) 発明者 後藤 俊夫

愛知県日進市五色園3丁目2210番地

(72) 発明者 堀 勝

愛知県日進市折戸藤塚105-33

(74) 代理人 弁理士 井上 俊夫

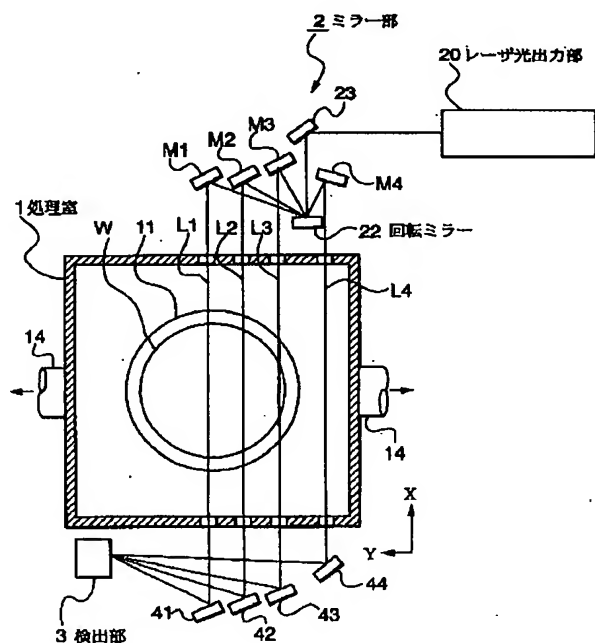
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粒子の密度分布の測定装置及び処理装置並びにプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 例えばプラズマを用いて半導体ウエハに対して成膜やエッチングなどの処理を行うにあたり、面内均一性の高い処理を行うこと。

【解決手段】 プラズマが発生する処理室1の外部に設けられたレーザ光出力部20から赤外半導体レーザ光をミラー23を介して、回転ミラー22に照射する。回転ミラー22の回転位置を変えることにより例えばミラーM1～M4を介して処理室1内に4つの光路L1～L4が形成され、各光路ごとのレーザ光の減衰量を検出部3で検出し、光路の配列方向の例えばCF₂ラジカル、CFラジカル、SiF₄分子などの粒子の密度分布を測定する。この測定結果に基づき圧力、流量、マイクロ波パワーといったプロセス条件をリアルタイムでコントロールする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 流体が供給される測定室とこの測定室の外部に設けられたレーザ光出力部と、このレーザ光出力部からのレーザ光を反射し、その位置に応じて前記測定室内にレーザ光の複数の光路を形成するようにその位置が可変できる可動ミラーを含むミラー部と、前記複数の光路を通ってきたレーザ光を順次受光し、各光路ごとのレーザ光の減衰量に基づいて測定室内の特定の粒子の密度を検出するための検出部と、を備え、前記可動ミラーを各位置に順次設定して、前記レーザ光出力部からのレーザ光を前記複数の光路に順次通過させ、各光路における粒子の密度に基づいて粒子の密度分布を求めることを特徴とする粒子の密度分布の測定装置。

【請求項 2】 可動ミラーは回転自在に設けられた回転ミラーにより構成され、この回転ミラーを各回転位置に順次設定して、前記レーザ光出力部からのレーザ光を前記複数の光路に順次通過させることを特徴とする請求項 1 記載の粒子の密度分布の測定装置。

【請求項 3】 ミラー部は、回転ミラーからのレーザ光を反射して夫々光路を形成するための複数の固定ミラーを含むことを特徴とする請求項 2 記載の粒子の密度分布の測定装置。

【請求項 4】 測定室内の各光路を通ってきたレーザ光を夫々検出部に反射させるための複数のミラーが設けられていることを特徴とする請求項 1、2 または 3 記載の粒子の密度分布の測定装置。

【請求項 5】 被処理基板を処理ガスにより処理するための処理室と、この処理室の外部に設けられたレーザ光出力部と、このレーザ光出力部からのレーザ光を反射し、その位置に応じて前記処理室内にレーザ光の複数の光路を形成するようにその位置が可変できる可動ミラーを含むミラー部と、前記可動ミラーが各位置に設定されることにより順次形成された複数の光路を通ってきたレーザ光を受光し、各光路ごとにレーザ光の減衰量に基づいて処理ガス中の特定の粒子の密度を検出するための粒子密度検出部と、この粒子密度検出部により検出された各光路ごとの粒子の密度に基づいて、処理室内で被処理基板に対して行われる処理についての処理条件を制御する手段と、を備えたことを特徴とする処理装置。

【請求項 6】 複数の光路は被処理基板の面方向に沿って並ぶことを特徴とする請求項 5 記載の処理装置。

【請求項 7】 処理室は被処理基板をプラズマにより処理するためのものであり、特定の粒子はラジカルまたは分子であることを特徴とする請求項 5 または 6 記載の処理装置。

【請求項 8】 被処理基板をプラズマにより処理すると

は、被処理基板に対して成膜を行うことである請求項 7 記載の処理装置。

【請求項 9】 被処理基板をプラズマにより処理するとは、被処理基板に対してエッチングを行うことである請求項 7 記載の処理装置。

【請求項 10】 処理室内にプラズマを発生させてそのプラズマにより当該処理室内の被処理基板に対して処理を行う方法において、処理室内に複数の光路を形成してこれら光路にレーザ光を通過させ、各光路ごとにレーザ光の減衰量を求めてこれら減衰量に基づきプラズマ中の特定の粒子について被処理基板の面方向の密度分布を求め、求められた粒子の密度分布に基づいて処理条件を制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばガス中の粒子の密度分布をレーザ光により測定する装置、及び例えば半導体ウエハに対して処理を行う処理装置、並びにプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体ウエハ（以下「ウエハ」という）の製造工程において、プラズマを用いて成膜やエッチングを行うプラズマ処理技術があり、プラズマを発生させる手法としては、電子サイクロトロン共鳴を利用する ECR 方式、一對の平板を対向させてその間に電力を印加する平行平板方式、ヘリコン波方式及び ICP 方式などがある。このようなプラズマ処理において、プラズマ中のラジカルが重要な役割を果たしていると考えられている。このため例えば特開平 9-199485 号公報には、赤外半導体レーザ光のスペクトル変化を検出して処理室内のラジカルの密度を測定し、その測定値に基づいてマイクロ波の出力を制御する技術が記載されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら例えばウエハの中央のラジカル密度を測定して中央部の膜厚やエッチング加工形状を精度良く得られても、ウエハ上の他の部位のラジカル密度を考慮しなければ面内均一性の確保という観点からは十分な制御手法とはいえないという課題がある。例えばウエハの中央のラジカル密度が局所的に所定値から外れたときに他の部位のラジカル密度は所定値であったとしたら、局所的な情報によりかえって制御が乱れてしまい、面内均一性が悪くなるという懸念もある。

【0004】またレーザ光をプラズマに照射し、分子がその光を吸収して蛍光を発することを利用して（この方法は一般的には LIF 法；Laser Induced Fluorescence と呼ばれている）、蛍光を計測しその計測値に基づいてラジカル密度を推定することも考えられるが、この手法は計測値の信頼性が高くないので正確なプロセス制御が

できないし、また光らないあるいは光っていないラジカル密度の推定ができないという課題がある。

【0005】本発明はこのような事情の下になされたものであり、その目的は、例えばラジカルなどの粒子の密度分布を測定することができ、例えばプラズマ処理を行うときの被処理基板の均一性の向上に貢献することのできる装置を提供することにある。本発明の他の目的は、ラジカルなどの粒子の密度分布に基づいてプロセス条件を制御することにより被処理基板に対して面内均一性の高い処理を行うことのできる装置を提供することにある。本発明の更に他の目的は、ラジカルなどの粒子の密度分布に基づいてプロセス条件を制御することにより被処理基板に対して面内均一性の高い処理を行うことのできるプラズマ処理方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、流体が供給される測定室とこの測定室の外部に設けられたレーザ光出力部と、このレーザ光出力部からのレーザ光を反射し、その位置に応じて前記測定室内にレーザ光の複数の光路を形成するようにその位置が可変できる可動ミラーを含むミラー部と、前記複数の光路を通ってきたレーザ光を順次受光し、各光路ごとのレーザ光の減衰量に基づいて測定室内の特定の粒子の密度を検出するための検出部と、を備え、前記可動ミラーを各位置に順次設定して、前記レーザ光出力部からのレーザ光を前記複数の光路に順次通過させ、各光路における粒子の密度に基づいて粒子の密度分布を求めることを特徴とする粒子の密度分布の測定装置にある。

【0007】この発明において、例えば可動ミラーは回転自在な回転ミラーにより構成され、この回転ミラーを各回転位置に順次設定して、前記レーザ光出力部からのレーザ光を前記複数の光路に順次通過させることができる。またミラー部は、回転ミラーからのレーザ光を反射して夫々光路を形成するための複数の固定ミラーを含む構成とすることができる。更にはまた測定室内の各光路を通ってきたレーザ光を夫々検出部に反射させるための複数のミラーを設ける構成とすることもできる。

【0008】他の発明は、被処理基板を処理ガスにより処理するための処理室と、この処理室の外部に設けられたレーザ光出力部と、このレーザ光出力部からのレーザ光を反射し、その位置に応じて前記処理室内にレーザ光の複数の光路を形成するようにその位置が可変できる可動ミラーを含むミラー部と、前記可動ミラーが各位置に設定されることにより順次形成された複数の光路を通ってきたレーザ光を受光し、各光路ごとにレーザ光の減衰量に基づいて処理ガス中の特定の粒子の密度を検出するための粒子密度検出部と、この粒子密度検出部により検出された各光路ごとの粒子の密度に基づいて、処理室内で被処理基板に対して行われる処理についての処理条件を制御する手段を備えたことを特徴とする処理装置にあ

る。

【0009】この場合複数の光路は被処理基板の面方向に沿って並ぶ。また処理室は被処理基板を例えばプラズマにより処理するためのものであり、特定の粒子は例えばラジカルまたは分子である。なおプラズマにより行う処理とは、例えば成膜処理やエッチング処理などを挙げることができる。

【0010】更に他の発明は、処理室内にプラズマを発生させてそのプラズマにより当該処理室内の被処理基板に対して処理を行う方法において、処理室内に複数の光路を形成してこれら光路にレーザ光を通過させ、各光路ごとにレーザ光の減衰量を求めてこれら減衰量に基づきプラズマ中の特定の粒子について被処理基板の面方向の密度分布を求め、求められた粒子の密度分布に基づいて処理条件を制御することを特徴とするプラズマ処理方法である。

【0011】

【発明の実施の形態】図1及び図2は、本発明の測定装置をECR（電子サイクロトロン共鳴）プラズマ装置の処理室内のラジカルを測定するための装置として構成した実施の形態を示す図である。まずプラズマ装置に関連する部分について簡単に述べると、図中1は横断面が正方形の処理室（特許請求の範囲の測定室に相当する）であり、この処理室1内にはウエハWをほぼ水平に載置するための載置台11が設けられている。処理室1の上面中央部には導波管12が接続されており、この導波管12からマイクロ波及び例えばAr（アルゴン）ガスが処理室1内に導入されるようになっている。

【0012】載置台11の上方にはこれと対向し、周方向に沿ってガス孔（図示せず）を備えたリング状のガス供給部13が設けられ、ガス供給部13からのガスがガス孔から内方側に噴出するようになっている。また処理室1の底部には例えば2箇所において排気管14が接続されており、更に処理室1の上下には夫々電磁コイル15、16が設けられている。

【0013】次に測定装置に関連する部分について述べると、処理室1の外側には赤外半導体レーザ光を出力するためのレーザ光出力部20をなす赤外半導体レーザ光出力装置と、このレーザ光出力部20から出力されるレーザ光の光路である4本の光路L1～L4を形成するためのミラー部2と、前記レーザ光出力部からのレーザ光を受光してその強度を検出し、処理室1内の光路を通ったことによるレーザ光の減衰量に基づいて処理室1内のラジカル密度（絶対密度）を求める検出部3と、前記光路L1～L4を通して処理室1から出たレーザ光を夫々検出部3に反射させるための4個の受光側ミラー41～44とが設けられている。なお処理室1の側壁のうちレーザ光の光路L1～L4となる部分は例えば透明ガラスにより構成されている。

【0014】前記ミラー2は、図3に示すように回転機

構21によりほぼ鉛直な軸のまわりに回転可能な可動ミラーである回転ミラー22と、レーザ光出力部20から出力されたレーザ光を反射して前記回転ミラー22に入光させるためのミラー23と、このミラー23から回転ミラー22を介して入光されたレーザ光を反射して、夫々前記4本の光路を形成するミラー（発光側ミラー）M1～M4とを備えている。

$$n = \frac{1}{2S} \sqrt{\pi / l n 2 \cdot 7.1623 \times 10^{-7} \cdot \nu c \cdot \sqrt{T/M \cdot K(\nu c)}}$$

$$\text{ただし } K(\nu c) = -(1/L) \cdot \ln [I(\nu c) / I_0(\nu c)]$$

ただしnは絶対密度（個/cm³）、νcは測定波数（cm⁻¹）、Sはνcにおけるラインストレングス（cm/個）、Tは分子の並進温度（K）、Mは分子の質量（g/mol）、Lは吸収長（処理室1内における光路長：cm）であり、νcはCF₂の吸収波数例えば1132.7532 cm⁻¹を用いている。この式は、スペクトルの形をドップラーラインシェイプと仮定して求めた式である。

【0016】次に上述実施の形態の作用について述べる。電磁コイル15、16によりウエハWの全面においてほぼ垂直に磁力線が通るようにミラー磁界が形成され、マイクロ波Mと磁界とにより電子サイクロトロン共鳴が起こってArガス及びガス供給部13からのガス例えばC₂F₄がプラズマ化される。図1の点線で囲まれる領域は青白く光っているいわば濃いプラズマが発生している領域である。

【0017】そしてレーザ光出力部20によりレーザ光がミラー23、回転ミラー22、ミラーM1を介して光路L1を通るように回転ミラー22の回転位置を設定しておき、CF₂ラジカルの吸収波数である1132.7532 cm⁻¹の赤外半導体レーザ光をレーザ光出力部20から出力する。これによってレーザ光出力部20よりのレーザ光が光路L1を通り、ミラー41を介して検出※

$$I(y) = 2 \int_0^{\sqrt{R^2 - y^2}} \epsilon(r) dx = 2 \int_r^R \frac{\epsilon(r) r dr}{\sqrt{r^2 - y^2}}$$

図4(b)は、同心円状に複数(N個)のリング状領域に分割し、各リング状領域の中ではラジカル密度が等しく、その中を光が矢印のように透過している様子を概念的に示している。I(y)は各y位置において求めた平均密度を処理室の中心からY軸に沿って壁面まで積分した値であり、rは処理室の中心からの半径方向の距離、ε(r)は半径方向の密度分布、Rは処理室の半径（処理室の壁面でラジカル密度がゼロになるとして取り扱っている）である。数2式を逆変換すれば（数式3）が得られ、半径方向の密度分布が求められる。

【0021】

※【0015】前記検出部3は、受光した波数νcのレーザ光の強度I(νc)を求めると共にこの強度I(νc)と予め分かっている発光側ミラーで反射されたレーザ光の強度I₀(νc)とに基づいてラジカルの個数（絶対密度）を求める機能を持っている。具体的には、例えば下記の（数1）式に基づいて求める。

【数1】

※部3にて受光される。検出部3は受光したレーザ光の強度を検出し、レーザ光の減衰量に応じたCF₂ラジカルの密度（絶対密度）を求める。

【0018】次に回転ミラー22を、光路L2が形成されるように、つまりミラー23からのレーザ光が回転ミラー22及びミラーM2を介して光路L2を通るように回転位置を設定し、同様にしてCF₂ラジカルの密度を求める。更に回転ミラー22を順次回転させて同様にして光路L3及びL4に対応するCF₂ラジカルの密度を求める。さてここで得られた密度は処理室1内の各光路L1（L2、L3、L4）における平均密度であるが、例えば図4(a)に示すように処理室1内の密度分布を仮定して（黒丸同士、白丸同士は同じ密度であり、かつ黒丸、白丸は互いに異なる密度である）密度の対称性と密度の連続性などから適当な演算を施してコンピュータ解析により処理室1の平面方向の密度分布を求めることができる。

【0019】また処理室1が円筒状であればアーベル変換などを行うことによって求めることができる。即ち図4(b)に示すように同心円状の密度が等しいとして取扱うと、（数式2）が成り立つ。

【0020】

【数2】

【数3】

$$\epsilon(r) = -\frac{1}{\pi} \int_r^R \frac{dI(y)}{dy} \cdot \frac{dy}{\sqrt{y^2 - r^2}}$$

従って光路L1（L2、L3、L4）の方向をX方向とすれば、これら光路L1（L2、L3、L4）に直交する方向即ちY方向におけるCF₂ラジカルの密度分布が得られる。具体的には、I(y)を求めるためのプロッ

ト（光路に沿って夫々求めたラジカル平均密度の値）は光路の数だけとなるので上述の場合4個となり、この4個の値をなめらかな曲線となるように補間して y の値を増やすことにより $I(y)$ を求める。従って光路の数を増やせば $I(y)$ はより精度よく求まる。そしてこの $I(y)$ を y で微分し、(数3)式に入れて積分すれば $\epsilon(r)$ が求まる。なお本発明では、前記光路と直交する方向にも光路を形成し、X、Y方向の光路がクロスする点の密度をコンピュータトモグラフィ（断層撮影）と同様な手法で求めるようにしてもよい。

【0022】この実施の形態によれば、プラズマが発生している処理室1について、回転ミラー22を用い、その回転位置に対応して処理室1内に複数の光路を形成しているため、ラジカルの密度分布を測定することができる。従ってプラズマの状態を調べることができ、更に CF_2 ラジカルがフッ素化カーボン膜（フルオロカーボン膜）の成膜や例えばシリコン酸化膜のエッチングのメカニズムに関連して、 CF_2 ラジカルの密度と膜厚や加工形状との面内均一性とは関連していると考えられることから、例えば後述の実施の形態のように測定結果をプロセス条件にフィードバックすることにより処理の均一性の向上に役立たせることもできる。

【0023】なお出力部20の出力窓を処理室1と対向させ、レーザ光出力部20をY方向に移動させることは理論上可能であるがレーザ光出力部20例えば赤外半導体レーザ光出力装置は、およそ2m程度もある大型の大量物であるため、これを動かす移動機構を組み立てることは、移動機構が非常に大掛りになり、レーザ光出力部が大型であることと相俟ってスペース的に無理があるし、コスト的にも無理があり、現実には実施できない。

【0024】ただしレーザ光を検出する側においては、例えばミラー41～44を用いずに図5に示すようにレール3aに沿って検出部3をY方向に移動させてもよい。またミラーM1～M4及びミラー23を用いずにレーザ光出力部20と回転ミラー22とを組み合わせ、回転ミラー22を既述の図2のミラー23の位置に置くと共に回転させて処理室1内に複数の光路を形成するようにしてもよいし、あるいはまた図6に示すようにガイドレール24に沿ってY方向に移動自在な基台25の上にミラー26を載せ、基台25をY方向に移動させてミラー26の位置を変え、こうして光路L1～L4を形成するようにしてもよい。この場合ミラー26は可動ミラーに相当する。なお光路の数は4個に限定されるものではない。

【0025】更に本発明では CF_2 ラジカルに限らず他のラジカル例えば CF や CF_3 ラジカルの密度分布を測定するようにしてもよいし、ラジカル以外の粒子、例えばイオン、原子、分子などを測定するようにしてもよく、あるいはガス中の粒子に限らず液体中のイオン、原子、分子などの粒子を測定するようにしてもよい。そし

てまたレーザ光としては赤外半導体レーザ光に限らず例えば可視領域や紫外領域などのレーザ光であってもよい。以下に C 、 F ガスをを用いてプラズマを発生させ、 CF_2 ラジカルの密度について測定した結果を実施例1～3に、また CF ラジカルの密度について測定した結果を実施例4、5に夫々記載し、更に SiF_4 ガスをを用いてプラズマを発生させ SiF_4 分子の密度について測定した結果を実施例6に示す。

【0026】（実施例1）図1の装置において処理室1として例えば一辺が50cm、高さ50cmの角筒状のものを用い、8インチサイズのウエハWを例えばECRポイントの下方約13cmの位置に載置した。マイクロ波の周波数及びパワーは夫々2.45GHz及び1000Wとし、磁場についてはECRポイントにおいて875G（ガウス）の強さとなるように設定すると共にウエハW上で直径約25cmのプラズマ（濃いプラズマ）が閉じ込められるようにミラー磁場を形成した。 C 、 F ガスは流量60sccmでガス供給部13から導入した。

【0027】処理室1内における圧力を4.0Pa、1.3Pa及び0.4Paの3通りに設定し、各圧力下においてウエハWから1cm上方の位置に、 CF_2 ラジカルの吸収波数である 1132.7532cm^{-1} のレーザ光を通して CF_2 ラジカルの密度分布を求めたところ図7に示す結果が得られた。この結果から、圧力が高い程 CF_2 ラジカルの密度が高くなると共にウエハW面上に比べて処理室1の内壁に近いところの方が前記密度が高く、またウエハW面上における前記密度の均一性は圧力が低い程高いことが分かる。

【0028】（実施例2）処理室1内の圧力を1.3Paに設定し、マイクロ波のパワーを500W、1000W及び2500Wの3通りに設定し、各条件下において CF_2 ラジカルの密度分布を求めたところ図8に示す結果が得られた。他の条件は実施例1と同様である。この結果からマイクロ波パワーが大きい程 CF_2 ラジカルの密度が低くなることが分かった。またウエハW面上における前記密度の均一性は、どの条件下においてもほぼ同じであった。

【0029】（実施例3）処理室1内の圧力を1.3Paに、マイクロ波パワーを1000Wに夫々設定し、 C 、 F ガスの流量を30sccm、60sccm及び150sccmの3通りに設定し、各条件下において CF_2 ラジカルの密度分布を求めたところ図9に示す結果が得られた。他の条件は実施例1と同様である。この結果から C 、 F ガスの流量を多くすると CF_2 ラジカルの密度が大きくなり、また流量によってウエハW面上の密度の均一性が左右されることが分かった。なおウエハW面上に比べて処理室1の内壁面近傍の方が CF_2 ラジカルの密度が大きい理由は、ウエハW面上の方がプラズマの電気的な衝撃により CF_2 ラジカルの分離が促進さ

10

20

30

40

50

れ、また壁面近傍では、壁面に付着した反応生成物とフッ素とが反応してCF₃ラジカルが生成されることが一因と考えられる。

【0030】（実施例4）CFラジカルの吸収波数である1108.6702cm⁻¹のレーザ光を通してCFラジカルの密度分布を求めた他は、実施例1と同様にして測定を行い、CFラジカルの密度分布の圧力依存性を求めた。この場合も処理室1内における圧力を実施例1と同様に4.0Pa、1.3Pa及び0.4Paの3通りに設定している。結果は図10に示す通りである。この結果から、圧力が高い程CFラジカルの密度が低くなり、実施例1と比べるとCF₃ラジカルの場合とは逆の傾向にあることが分かる。またウエハW面上における前記密度の均一性は、0.4Pa及び4.0Paの圧力よりも1.3Paの圧力の方が高い。

【0031】（実施例5）CFラジカルの吸収波数である1108.6702cm⁻¹のレーザ光を通してCFラジカルの密度を求めた他は実施例2と同様にして測定を行い、CF₃ラジカルの密度分布のマイクロ波パワー依存性を求めた。この場合もマイクロ波パワーを実施例3と同様に500w、1000w及び2500wの3通りに設定している。結果は図11に示す通りである。この結果からマイクロ波パワーが大きい程CFラジカルの密度が高くなり、実施例3と比べるとCF₃ラジカルの場合と逆の傾向にあることがわかる。またマイクロ波パワーの増加に伴って、壁近傍のCFラジカルの密度がウエハW中心付近に比べて増加している。これは先の実施例3のところで考察した理由、及び処理室1上部からのCFラジカルの回り込みなどが考えられる。更にウエハW面上における前記密度の均一性はマイクロ波パワーが2500wの場合に比べて、1000w、500wの場合の方が高い。以上の結果からラジカル密度の圧力依存性及びマイクロ波パワー依存性は、ラジカル種によって異なることが分かり、その原因はプラズマの電氣的な衝撃によるラジカルの分離の程度や壁面におけるラジカルの生成の程度がラジカルによって異なるからであると推測される。

【0032】（実施例6）処理室1内にC₂F₄ガスの代わりにSiF₄ガスを90sccmの流量で導入し、処理室1内の圧力を1.3Paに設定した。そしてマイクロ波のパワーを0w、1000w、1500w及び2500wの4通りに設定し、SiF₄分子の吸収波数である1032.131cm⁻¹のレーザ光を通し、SiF₄分子の密度分布のマイクロ波パワー依存性を求めた。他の条件は実施例1と同じである。結果は図12に示す通りである。この結果からマイクロ波パワーが大きい程、SiF₄の解離が進んで全体のSiF₄分子密度が小さくなっていることが分かる。またマイクロ波パワーをかけたときには壁面に比べて中央部の分子密度が大きくなっているが、これはウエハWの中心に近い程プラズマエ

ネルギーが大きく、SiF₄の解離が促進されていることに基づくものと考えられる。なお本発明者は、SiF₄分子における上記波数に対応するラインストレングスSの値を把握していなかったが、次のようにしてSを求めた。即ちマイクロ波パワーを印加しないときには、SiF₄ガスを理想気体とみなし、圧力、温度、体積が分かっているので気体の状態方程式（PV=nRT）からSiF₄の密度nが求まる。室温で1.3Paの条件下ではnは3.2×10¹⁴cm⁻³であった。従ってこのときにk（νc）を求めれば、先の（数1）式からSが求まり、Sは3.5×10⁻²⁰cm/個であった。このようにしてSが分かれば、マイクロ波パワーを印加したときにK（νc）を求めればnが求まる。

【0033】次に上述の測定装置を組み込んだ基板処理装置の実施の形態であるECRを利用したプラズマ処理装置について図13～図15を参照しながら説明する。この装置は筒状の第1の真空室51と、レーザ光の透過窓52aを備えた第2の真空室52とからなる真空容器2を備え、高周波電源部53からのマイクロ波が導波管54及び透過窓55を介して真空容器2の上端から真空容器2内に導入されるように構成されている。56、57は夫々主電磁コイル及び補助電磁コイルであり、これら電磁コイル56、57によりミラー磁場が形成される。なお電磁コイルは導波管54の周囲を巻装するように設けられていてもよい。61、62は夫々ガス供給ノズル及びリング状のガス供給部であり、ガス供給ノズル61からは例えばArガスが供給されると共に、ガス供給部62からは成膜を行う場合には例えばC₂F₄ガス及びC₂H₂ガスが、またエッチングを行う場合にはCF系のガスが夫々供給される。63はウエハ載置台、64は排気管、65は載置台63にバイアス電力を印加するためのバイアス電源部である。

【0034】そして真空容器2の外部には、図9に示すように既述のラジカル測定装置が設けられており、例えばウエハWの中心端から周縁部に亘って4本の光路L1～L4が形成される。図14において31はラジカル密度検出部、32はラジカルの密度分布解析部であり、密度分布解析部32は、ラジカル密度検出部31で検出した各光路L1～L4ごとのラジカル密度に基づいてその密度分布を解析する機能を持っている。密度分布を解析するとは、例えば各光路L1～L4ごとのラジカル密度の最大値と最小値との差を求めることやあるいは既述の密度分布のグラフを作成することなどを意味し、前者の場合にはその差に基づいてプロセス条件を変える場合に役立てられ、後者の場合にはプラズマの状態を後で解析する場合などに用いられる。

【0035】図15は、図13に示すプラズマ処理装置において、密度分布解析部32で解析された結果に基づいてリアルタイムでプロセス条件を制御するための装置を示す図である。図15において7は主制御部、71は

高周波電源部53の電力をパルス変調するためのパルス発生器である。マイクロ波があるデューティ比のパルスでパルス変調されているとすると、主制御部7は密度分布解析部32から得られた例えばラジカルの密度の最大値と最小値との差 Δd に応じた制御信号をパルス発生器71に出力し、前記デューティ比を調整する。なおマイクロ波は例えばTMモードあるいはTEモードで導かれる。

【0036】マイクロ波をパルス変調することによりプラズマの電子温度を制御することができ、これによりラジカル例えば CF_2 ラジカルの密度を制御できるため、特定のラジカルの密度分布に基づいて前記デューティ比を制御すれば、ウエハ面内におけるラジカルの密度をきめ細かく制御することができ、この結果ウエハW上の膜厚やエッチングの加工形状について高い面内均一性を確保することができる。この例では C 、 F 、ガス及び C 、 H 、ガスによりフッ素化カーボン膜が得られ、その膜厚の面内均一性が向上する。なおデューティ比の制御の手法としては、ラジカル密度が予め定めた上限設定値を越えたときや下限設定値以下になったときにデューティ比を変えさせるための制御信号を出力するようにしてもよいし、上述の制御と組み合わせてもよい。またマイクロ波を制御するについては、デューティ比の制御に限らずパワー（電力値）や壁面温度を制御するようにしてもよい。

【0037】更に密度分布解析部32の解析結果に基づいて主制御部7から出力される制御信号は、電磁コイル56、57を夫々制御する電流制御部72、73に与え、励磁電流を調整して磁界の強さや磁力線の形状を変えるようにしてもよい。また前記制御信号はガス供給部62に送られるガスの流量を調整するための流量調整部72に与え、ガスの総流量や混合比を調整するようにしてもよいし、排気管64に設けられた排気量調整部例えばバタフライ弁の開度を調整して処理室1内の圧力を調整するようにしてもよい。そしてまたバイアス電源部65についても、電力値を制御してもよいし、パルス発生部76でパルス変調する場合には前記制御信号によりパルス発生部76を介してデューティ比を制御するようにしてもよく、この場合には特にウエハW上の薄膜のエッチングを行う場合に有効である。

【0038】このようにウエハWの面方向におけるラジカルの密度分布を測定し、その測定結果に基づいてリアルタイムでマイクロ波、圧力及びガス流量などのプロセス条件を制御すれば、ラジカルの密度分布をきめ細かく制御することができる。ここでウエハWの処理の状態例えば膜厚の均一性やエッチング加工の均一性についてはプラズマ中のラジカルと関連していることから、例えばプロセス条件を目標値に設定した場合にも、ラジカルの密度分布が変化したときには、その密度分布に基づいて目標値を変更するといったきめ細かい制御を行うことが

できるので、結果としてプラズマ処理の面内均一性を向上させることができ、ウエハの大口径化が進む中で、スループットの向上を図る上で有効な手法である。ここで本発明は、フッ素化カーボン膜の成膜に限らず、例えば SiF_4 ガスを前記ガス供給部62から、また酸素ガス及びアルゴンガスを前記ガス供給ノズル61から夫々真空容器2内に導入し、 $SiOF$ 膜を成膜する場合に、 SiF_4 分子の密度を検出し（実施例6で記載したように SiF_4 分子の密度は測定できる）、その検出結果に基づいてプロセス条件を制御するようにしてもよい。また CF 系のガスで SiO_2 膜をエッチングする場合には SiF_4 が発生するので、 SiF_4 の密度に基づいてプロセス条件を制御してエッチングを行うようにしてもよい。

【0039】以上において本発明は、ECR以外のヘリコン波タイプのもの、平行平板タイプのもの、ICP（誘導結合プラズマ）タイプのものなどにも用いることができ、更に成膜やエッチング以外のプラズマ処理例えばレジストの灰化处理（アッシング）などにも適用することができる。またプラズマ処理以外にも処理ガスを用いて基板を処理する他の装置例えば熱CVD装置などに対しても適用することができる。

【0040】

【発明の効果】本発明の測定装置によれば、ミラーを動かして測定室内に複数の光路を形成しているため、大掛かりな装置とすることなく測定室中のラジカル、イオン、原子あるいは分子などの粒子の密度分布を測定することができ、例えばプラズマの状態をより正確に把握できるなどの効果がある。

【0041】また本発明の処理装置によれば、上述の測定装置を用いて処理室内のラジカルなどの密度分布を測定し、その結果に基づいてプロセス条件を制御しているため、きめ細かい制御を行うことができ、その結果基板上の処理の面内均一性を向上させることができる。

【0042】更に本発明のプラズマ処理方法によれば、ラジカルの密度分布に基づいてプロセス条件を制御しているため、プラズマの状態をきめ細かく制御でき、基板上の処理の面内均一性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の測定装置に係る実施の形態を示す縦断側面図である。

【図2】本発明の測定装置に係る実施の形態を示す横断平面図である。

【図3】上記実施の形態で用いられる可動ミラーを示す斜視図である。

【図4】ラジカル密度分布の推定のためのモデルの例を示す説明図である。

【図5】本発明の測定装置に係る他の実施の形態を示す横断平面図である。

【図6】本発明の測定装置に係る更に他の実施の形態を

示す横断平面図である。

【図7】圧力を変えたときにおける処理室内の位置とCF₂ラジカル密度との関係を示す特性図である。

【図8】マイクロ波パワーを変えたときにおける処理室内の位置とCF₂ラジカル密度との関係を示す特性図である。

【図9】ガスの流量を変えたときにおける処理室内の位置とCF₂ラジカル密度との関係を示す特性図である。

【図10】圧力を変えたときにおける処理室内の位置とCF₂ラジカル密度との関係を示す特性図である。

【図11】マイクロ波パワーを変えたときにおける処理室内の位置とCF₂ラジカル密度との関係を示す特性図である。

【図12】マイクロ波パワーを変えたときにおける処理室内の位置とSiF₄分子密度との関係を示す特性図である。

【図13】本発明の処理装置に係る実施の形態を示す縦断断面図である。

【図14】本発明の処理装置に係る実施の形態を示す横断平面図である。

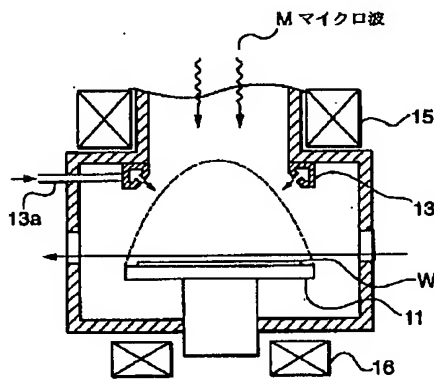
【図15】本発明の処理装置に係る実施の形態を示すブロック図である。

【符号の説明】

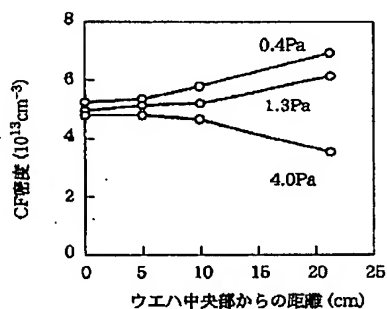
- * 1 処理室
- 2 ミラー部
- W 半導体ウエハ
- 20 レーザ光出力部
- 22, 26 回転ミラー
- 25 基台
- M1~M4, 23 ミラー
- 3 検出部
- 41~44 ミラー
- 10 L1~L4 光路
- 5 真空容器
- 53 高周波電源部
- 61 ガスノズル
- 62 ガス供給部
- 65 バイアス電源部
- 31 ラジカル密度検出部
- 32 密度分布解析部
- 7 主制御部
- 71, 76 パルス発生部
- 20 72, 73 電流制御部
- 74 流量制御部
- 75 圧力調整部

*

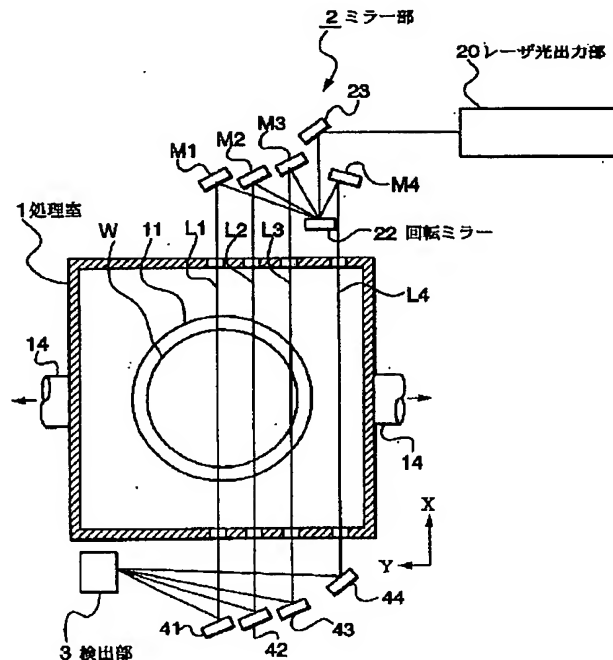
【図1】



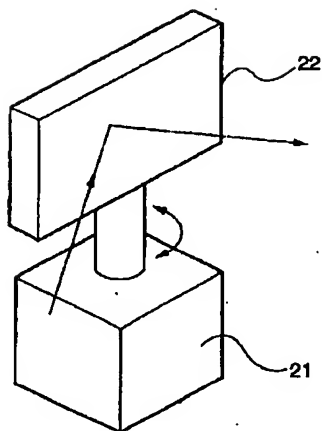
【図10】



【図2】

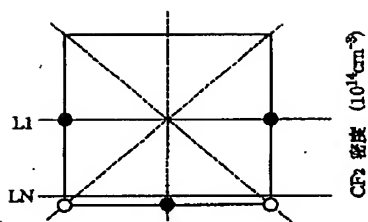


【図3】



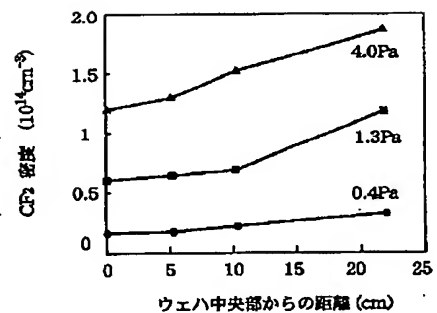
(a)

【図4】

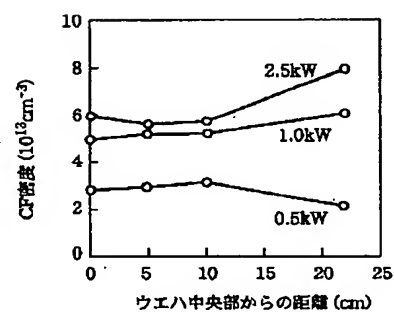
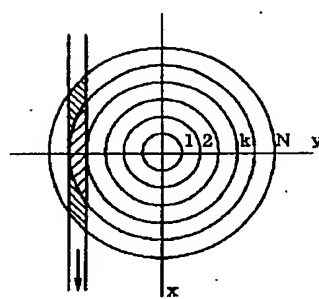


(b)

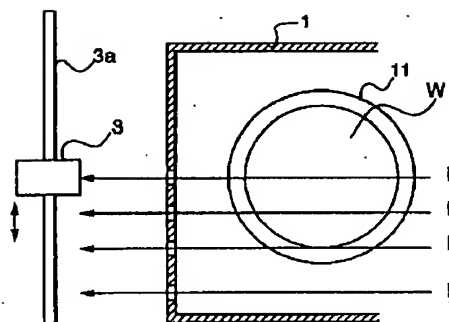
【図7】



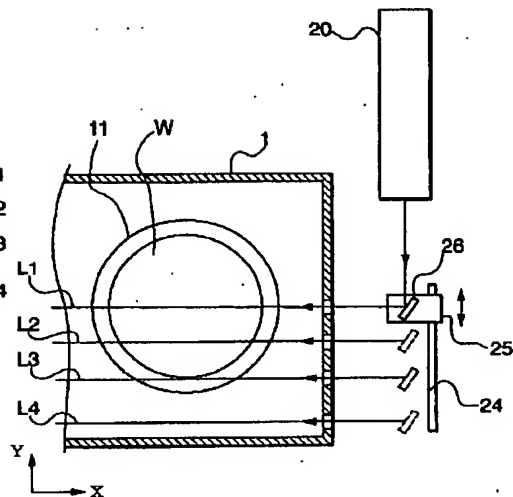
【図11】



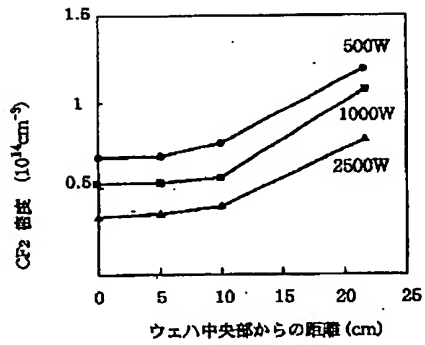
【図5】



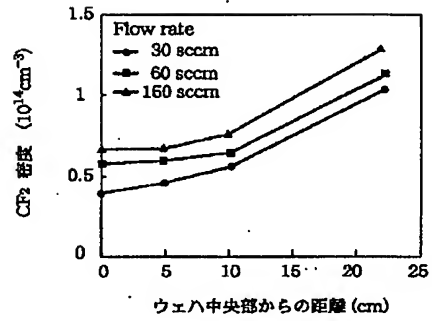
【図6】



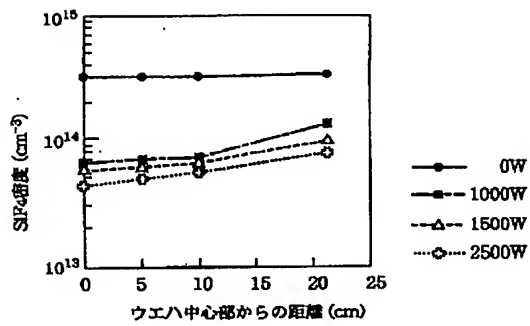
【図8】



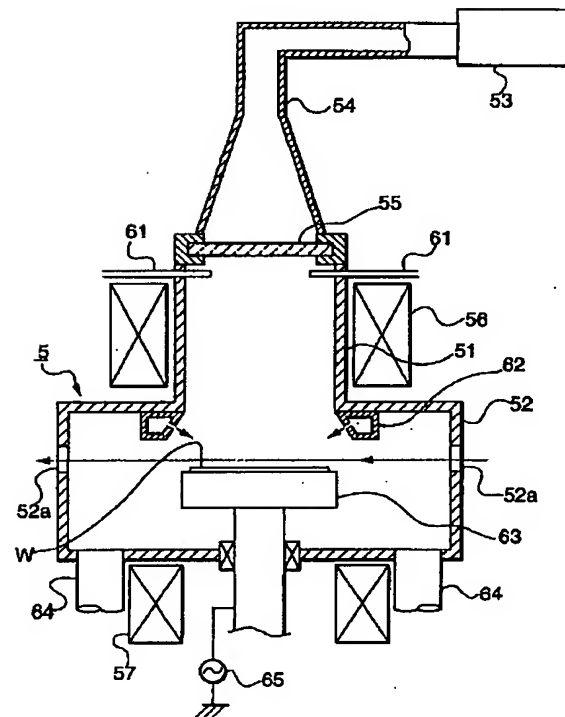
【図9】



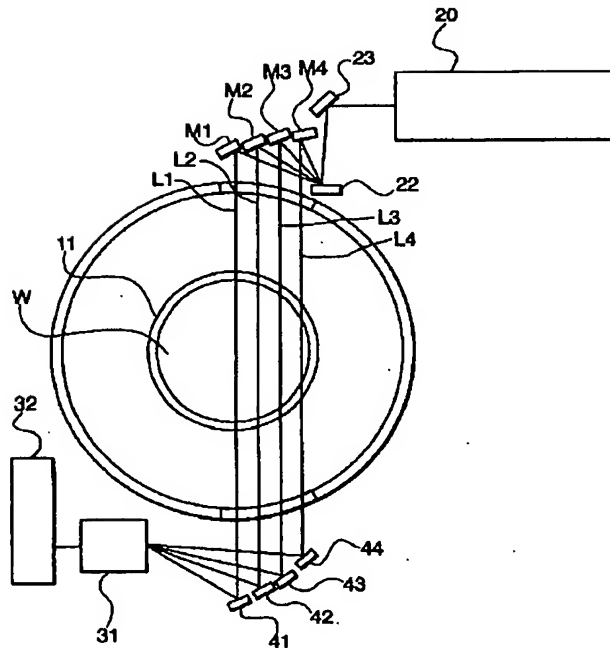
【図12】



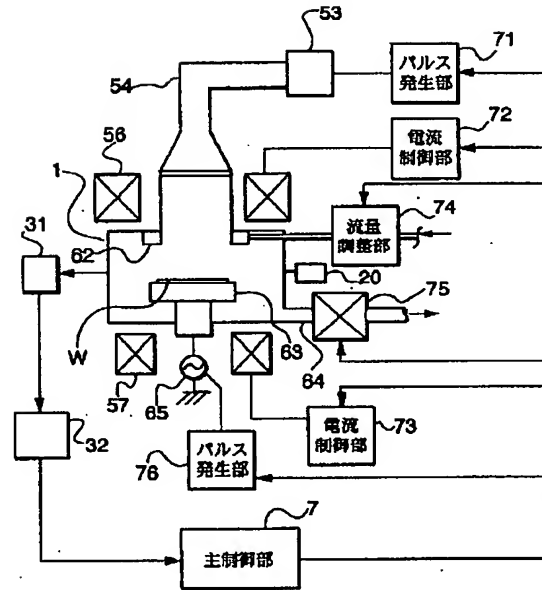
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 昌文
愛知県名古屋市天白区梅が丘三丁目1802番
地 ニューコーポ植田ⅠⅠ305号

(72)発明者 石井 信雄
東京都港区赤坂五丁目3番6号 東京エ
レクトロン株式会社内

(72)発明者 川上 聡
神奈川県津久井郡城山町町屋1丁目2番41
号 東京エレクトロン東北株式会社相模事
業所内